

University of Groningen

Efficiency enhancement of polymer fullerene solar cells

Lenes, Martijn

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

2009

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Lenes, M. (2009). *Efficiency enhancement of polymer fullerene solar cells*. s.n.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

SAMENVATTING

Het voornaamste doel van de organische fotonvoltaïsche technologie is het ontwikkelen van een grote schaal, flexibele en vooral goedkope energiebron. De materialen beschreven in dit proefschrift, geconjugeerde polymeren en fullereen derivaten, kunnen oplosbaar gemaakt worden en zijn hierdoor geschikt voor lage temperatuur processen zoals spin coaten, doctor blading en idealiter roll-to-roll fabricatie (denk hierbij aan zonnecellen die als kranten op hoge snelheid gedrukt worden). Helaas geldt ook voor deze materialen dat ze inherent wanordelijk zijn, mede door deze fabricage technieken, wat leidt tot lage ladingsdrager mobiliteiten vergeleken met hun inorganische tegenhangers zoals silicium. Dit plaatst het vakgebied van de organische halfgeleiders in een gebied van lage frequentie, lage performance toepassingen. Uiteindelijk zal de balans tussen kosten, levensduur en efficiëntie de waarde van de organische zonnecel moeten bepalen.

Deze thesis zal het laatste onderdeel van deze balans, de efficiëntie, behandelen. In het inleidende eerste hoofdstuk wordt de huidige stand van kennis met betrekking tot de principes van polymere fullerene bulk heterojunctie (BHJ) zonnecellen behandeld. Met deze informatie worden de voornaamste verliesprocessen geïdentificeerd. Er wordt aangetoond dat de lage ladingsdrager mobiliteiten in feite de efficiëntie niet significant beïnvloed, mits ze gebalanceerd zijn. Dit komt naar voren in de hoge interne efficiëntie gehaald in bijvoorbeeld zonnecellen gemaakt van een mix van polythiophene (P3HT) en een methanofullerene (PCBM). Desalniettemin behalen dit soort devices slechts een efficiëntie van rond de 4%. De vraag is dan welke processen er dan verantwoordelijk zijn voor het energieverlies. Er wordt getoond dat een significant deel van de energie verloren gaat door een onvoordelige afstand tussen de energieniveaus van de gebruikte materialen. In polymere zonnecellen wordt gebruik gemaakt van een zogeheten donor-acceptor systeem om excitonen in vrije ladingsdragers te om te zetten. Helaas gaat er tijdens de overdracht van een electron van de laagste ongevolde moleculaire orbitaal (LUMO) van de donor naar die van de acceptor energie verloren. Dit verlies in energie manifesteert zich in de lage openklemspanning in vergelijking met de bandgap van het absorberend materiaal. Drie strategieën om dit verlies van energie te verminderen worden voorgesteld, waarvan ofwel wordt verwacht dat de hoeveelheid geabsorbeerd licht wordt verhoogd, ofwel een verhoging van het geleverde voltage wordt verhoogd.

Het tweede en derde hoofdstuk van deze thesis richten zich op poly(p-phenylene vinylene) (PPV) type polymeren, een veel gebruikte en bestudeerde klasse materialen in de polymere electronica. Door gebruik te maken van chlorobenzeen als oplosmiddel tijdens het spincoaten van MDMO-PPV:PCBM lagen zijn in het verleden de eerste relatief efficiënte devices gemaakt met een efficiëntie van 2.5%. Zonnecellen gebaseerd op mengsels van deze twee materialen hebben typisch een actieve laag van 100nm dik, welke nog een significant deel van het zonlicht doorlaat. In hoofdstuk twee wordt de reden voor het gebruik van een

dergelijk dunne actieve laag bestudeerd. De daling van de vulfactor, wat vanuit een device oogpunt de oorzaak van de daling in efficiëntie is, blijkt veroorzaakt door een combinatie van ruimtelading effecten, een verminderde dissociatie efficiëntie en ladings recombinatie.

Buiten de dunne actieve laag in PPV zonnecellen kan nog een ander verliesmechanisme aangeduid worden. Aangetoond is dat de dissociatie van gebonden electron-gat paren aan het donor acceptor interface een belangrijk verliespad is in PPV gebaseerde zonnecellen. In hoofdstuk drie wordt een nieuw glycol gesubstitueerde PPV gebruikt met een hogere diëlectrische constante in vergelijking met normale PPV's. Het doel is nu de bovengenoemde dissociatie efficiëntie te verhogen, welke sterk afhankelijk is van de gemiddelde dielectrische constante van de actieve laag. Door een significant lagere gatenmobilititeit en morfologie-problemen gaven de zonnecellen gebaseerd op dit polymeer niet de verwachte winst in efficiëntie. Desalniettemin werd een verhoging van de dissociatie efficiëntie van 60 naar 72% geobserveerd voor het nieuwe polymeer, wat het belang aangeeft van de gemiddelde dielectrische constante op de werking van een polymere zonnecel.

Zoals hierboven beschreven, is het optimaliseren van de LUMO energie niveau's van donor en acceptor één van de meest directe manieren om de device efficiëntie te verhogen. Door het LUMO energieniveau te verlagen kan in theorie meer licht door het polymeer worden geabsorbeerd, wat leidt tot een hogere device stroom. Eén van de meest veelbelovende materialen in die categorie is PCPDTBT. In hoofdstuk vier wordt het ladingstransport en photogeneratie van dit materiaal gemixed met PCBM onderzocht. Ondanks een gebalanceerd transport vertoont de photostroom een wortelafhankelijkheid ten opzichte van het effectieve voltage. Er wordt aangetoond dat deze wortelafhankelijkheid niet komt door een ongebalanceerd transport, zoals beschreven in hoofdstuk twee, maar door een verhoogde recombinatie van het electron gat paar. Deze verhoogde recombinatie wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een te fijne mix van polymeer en fullereen.

In hoofdstuk vijf wordt een andere strategie om de device efficiëntie van een polymere zonnecel te verhogen onderzocht. In plaats van het verlagen van de LUMO van de donor wordt nu de LUMO van de acceptor verhoogd, wat tot een zeer directe verhoging van de efficiëntie leidt door middel van een hogere openklemspanning. Het verhogen van de LUMO van het fullereen wordt bewerkstelligd door gebruik te maken van de bisadduct analoog van PCBM. De additionele functionalisering van het fullereen leidt tot een saturatie van het aantal dubbele bindingen wat het LUMO energieniveau van het molecuul aanzienlijk verhoogt. Er wordt aangetoond dat, ondanks de extra functionalisatie, welke de wanorde in het systeem verhoogd (doordat er nu meerdere isomeren van het molecuul bestaan) het vervangen van PCBM met bisPCBM slechts in zeer kleine mate de kortsluitstroom en transport van de zonnecel vermindert. Gecombineerd met een significant verhoogde openklemspanning werd een efficiëntie van 4,5% behaald, relatief 20% hoger in vergelijking met PCBM, en één van de hoogst gerapporteerde efficiënties voor een P3HT gebaseerde zonnecel. In het tweede deel

SAMENVATTING

van hoofdstuk vijf worden bis,- en trisadduct analogen van andere fullerenen onderzocht. Er wordt aangetoond dat het bestaan van meerdere isomeren leidt tot ondiepe vangstcentra voor het electronentransport die echter de zonnecel niet beperken tijdens zijn werking.

Tot besluit; bestaande device modellen zijn gebruikt om limiterende factoren voor de efficiëntie van polymere zonnecellen te identificeren. Verschillende strategieën worden behandeld om deze limieten op te heffen. In sommige gevallen werkten de voorgestelde veranderingen als verwacht echter werden verbeteringen gecompenseerd door onverwachte bijverschijnselen van de veranderingen (hoofdstuk drie). In andere gevallen werden nieuwe fysische fenomenen geobserveerd zoals een de levensduur begrensde fotostroom in hoofdstuk vier. Een doorbraak in performance is beschreven in hoofdstuk vijf, waar de voorgestelde verhoging van het LUMO energie niveau van de acceptor resulteerde in een verhoogde openklemspanning zonder daarbij in te boeten op andere vlakken. De behaalde efficiëntie steeg daardoor significant, precies als voorspeld.

Met de resultaten in deze thesis is een volgende stap gemaakt richting het begrijpen van de device fysica van polymere zonnecellen en werden hogere efficiënties behaald. Misschien wordt het wel tijd om naar de andere kant van de polymere zonnecel te kijken, het daadwerkelijk goedkoop maken en de levensduur van de devices.